परमाणु शक्ति के बारे में हमने कैसे जाना?

आइसिक असीमोव

हिंदी अनुवाद: डा. एस. के. जैन

1. परमाणु शक्ति

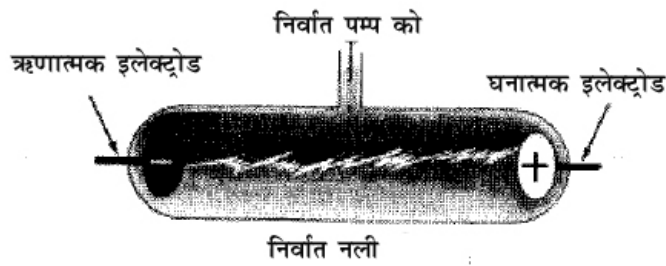
यद्यपि 19वी शताब्दी (1800 - 1900) तक के वैज्ञानिकों ने सोचा कि पदार्थ का सूक्ष्मतम कण "परमाणु (atom)" था| प्रत्येक परमाणु इतना सूक्ष्म था कि उसे अतिउत्तम सूक्ष्मदर्शी यंत्र (microscope) के नीचे भी देख पाना संभव नहीं था|

तब 100 से भी अधिक विभिन्न प्रकार के परमाणु थे| प्रत्येक किस्म के परमाणु को जब अन्य समान परमाणुओं से संयुक्त (combine) कराया जाये तो एक तत्व (element) बनता है| लौह के परमाणुओं से लौह बनता है| गंधक के परमाणुओं से गंधक बनता है| तथा ऑक्सीजन (oxygen) के परमाणुओं से ऑक्सीजन| इसी प्रकार अन्य तत्व भी बनते हैं| लौह, गंधक, व ऑक्सीजन, तत्वों के उदहारण हैं|

एक बात अवश्य है कि विद्युत्, पदार्थ जैसी प्रतीत नहीं होती| विद्युत् कुछ ऐसी चीज है जो द्रव्य एवं ठोस पदार्थों के माध्यम से प्रवाहित होती ह| विद्युत् तारों में प्रवाहित होती है तो वे चमकने लगते हैं| विद्युत्, मोटर, तथा अन्य उपकरणों को चलाती है| वैज्ञानिकों ने जानना चाहा कि विद्युत् किससे बनी हुई है? चूँकि यह परमाणुओं से बनी प्रतीत नहीं हुई|

यदि विद्युत् को तारों में से प्रवाहित करके बाहर निकाला जा सके तो इसका अध्ययन अधिक सरलता से हो सकता है| विद्युत् धारा को कभी-कभी वायु में चमकीली चिंगारी के रूप में चमकाया (flash) जा सकता है| ऐसी चिंगारी अधिक देर तक नहीं रहती, अतः इसका अध्ययन कठिन है| इसके अतिरिक्त चिंगारी अनेक परमाणुओं के साथ मिश्रित (mixed) रहती है|

यदि विद्युत् धारा को निर्वात (vacuum) (अर्थात वह स्थान जिसमे कुछ भी न हो) में प्रवाहित करें तो क्या होगा? परन्तु इसको संभव करने के लिये नली में से वायु को पूर्णतः बाहर निकालना (pump-out) होगा| इसके अतिरिक्त नली के अंदर भिन्न स्थानों पर दो धातु की प्लेटें (plates) भी होनी चाहिएँ, ताकि विद्युत् धारा को एक प्लेट से दूसरी प्लेट की ओर प्रबलता से (forcibly) भेजा जा सके|

लगभग 1855 में हेंरीच गेइस्स्लेर (Heinrich Geissler) नाम के एक जर्मन आविष्कारक ने पहली बार ऐसी निर्वात (vacuum) नली बनायी| तत्पश्चात वैज्ञानिक विद्युत् धारा को निर्वात में प्रबलता से भेजने के परिणामों का अध्ययन कर सके| उन्होंने देखा कि कुछ तो उत्पन्न हुआ है जो सीधी लाइन (line) में संचरित हो सका| अतः इसे विकिरण (radiation) कहा| इसको विकिरण इसलिए कह सके क्योंकि यह बहुत धीमा चमका| जहाँ यह नली के काँच से टकराया, वहां अधिक प्रबलता से चमका|

1876 में यूगेन गोल्द्स्तें (Eugene Goldstein) नाम के एक जर्मन वैज्ञानिक ने दर्शाया कि विकिरण एक प्लेट से प्रारम्भ हुआ, जिसे ऋणाग्र (कैथोड/cathode) कहा| उसने इस कारण से विकिरण को कैथोड-किरण कहा|

कुछ लोगों ने सोचा कि कैथोड-किरण एक प्रकार का प्रकाश है| प्रकाश खास लम्बाई की लघु तरंगों (short-waves) से बना है| शायद कैथोड-किरण भी समान प्रकार की लघु-तरंगों से परन्तु भिन्न लम्बाई के साथ बनी हों|

यदि चुम्बक को निर्वात (vacuum) नली के पास लाया गया तो कैथोड किरणों का पथ (रास्ता) वक्र (curved) हो गया| परन्तु प्रकाश इस तरह का व्यव्हार नहीं करता है| चुम्बक हो अथवा नहीं, प्रकाश सीधी रेखा (line) में संचरित होता है|

1895 में जीन बप्तिस्ते पेर्रिन (Jean Baptiste Perrin) नाम के फ्रांसिसी वैज्ञानिक ने दर्शाया कि कैथोड-किरणों में विद्युत् आवेश है| इस कारण से कैथोड-किरणों का पथ वक्र हो गया, क्योंकि विद्युक आवेश को चुम्बक खींच सकता है|

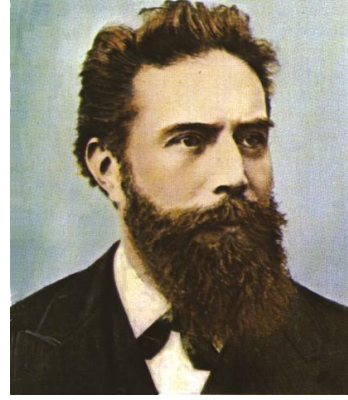
पदार्थो के लघु कण, विद्युत् आवेश को संचारित कर सकते हैं, परन्तु प्रकाश ऐसा नहीं कर सकता| अतः पेर्रिन ने निर्णय लिया कि कैथोड-किरण विद्युत् से आवेशित सूक्ष्म कणों से बनी हुई हैं|

1897 में जोसफ जॉन थॉमसन (Joseph John Thomson) नाम के एक अंग्रेज वैज्ञानिक ने कैथोड-किरणों के वक्र पथ का अध्ययन किया| चुम्बिकीय खिंचाव तथा पथ में वक्रता की मात्रा से वह

सूक्ष्म कणों के वास्तविक आकार (actual size) की गणना कर सका| उसने आश्चर्य के साथ खोजा कि कैथोड-किरणों के कण, परमाणु से भी सूक्ष्म हैं| कैथोड-किरण का कण, सबसे छोटे परमाणु का केवल 1/1800 मात्र था|

क्योंकि कैथोड-किरणों के कण परमाणु से भी छोटे थे, वे प्रथम बार “अवपरवाणिय” (subatomic) कणों को खोज सके| प्रथम बार देखे गए इन कणों को थॉमसन ने “इलेक्ट्रॉन“ (electron) कहा, क्योंकि उन्हें विद्युत् धारा में पाया गया था| अब वैज्ञानिक दो प्रकार के कणों का ज्ञान रखते थे| एक तो सूक्ष्म परमाणु जो पदार्थ बनाते हैं, तथा दूसरे और अधिक सूक्ष्म इलेक्ट्रॉन जो विद्युत् बनाते हैं| क्या इन दोनों के मध्य कोई सम्बन्ध है? कैथोड किरण सम्बंधित प्रयोग करने पर इसका उत्तर मिल सका|

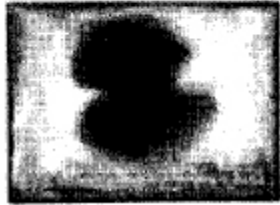
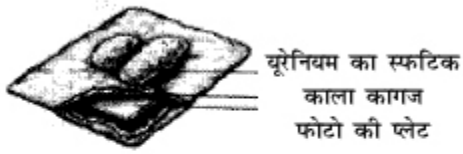
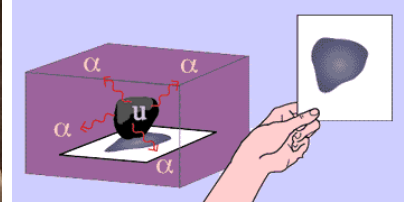
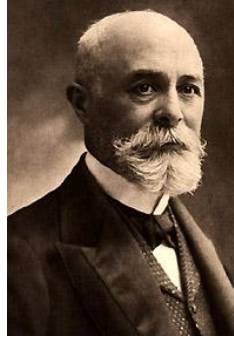
1895 में विलहेल्म कोनराड रोएंत्गें (Wilhelm Konrad Roentgen) नाम के एक जर्मन वैज्ञानिक ने देखा कि जब कैथोड-किरण पदार्थ से टकराई, तब एक नए प्रकार का विकिरण हुआ| यह नया विकिरण कुछ पदार्थो को चमक दे कर छायाचित्रित प्लेट (photographic plate) को काला या धुंधला (dark) कर सका| रसायन या प्लेट को लकड़ी अथवा गत्ते (cardboard) के पीछे छुपाने पर भी ऐसा हो सका| अतः विकिरण ठोस पदार्थो के माध्यम से भी संचारित हो सकता है|

विल्हेल्म कारनेड रॉन्जन

क्योंकि रोएंत्गें इन विकिरणों को नहीं जानता था, अतः उसने इसे X-किरण (X-rays) कहा| X एक गणित का चिंह (symbol) है जिसका अर्थ अज्ञात (unknown) है| आखिरकार यह स्थापित हुआ कि X- किरण अत्यंत लघु तरंग लम्बाई के साथ प्रकाश के समान है|

एक बार जब रोएंत्गें ने अपनी खोज की घोषणा की, तो दूसरे वैज्ञानिक, X-किरण को अन्य स्रोतों (sources) में खोजने लगे|

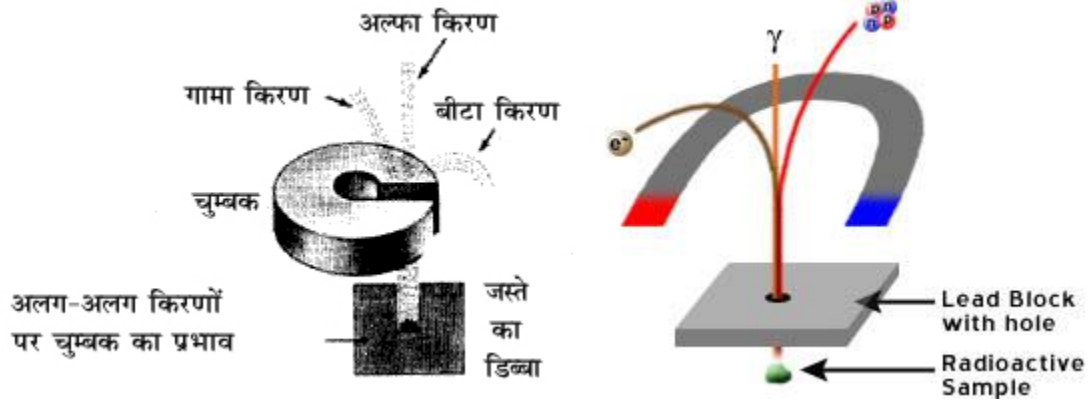
अन्टिने हेनरी बेक्युरिल (Antoine Henry Becquerel) नाम का एक फ्रांसिसी वैज्ञानिक यूरेनियम (uranium) तत्व के रासायनिक यौगिक (chemical compound) के साथ काम कर रहा था| जब सूर्य का प्रकाश उस पर पड़ा तो वह चमका| बेक्युरिल ने यौगिक को सूर्य की ओर रखा| उसने फिर काले कागज में उस यौगिक को लपेटा तथा अँधेरे में एक छायाचित्रित प्लेट के पास रखा| यदि चमक साधारण प्रकाश है तो यह काले कागज के माध्यम से संचरित नहीं होगी तथा छायाचित्रित प्लेट अपरिवर्तित रहेगी| यदि चमक में X-किरण हैं तो वे कागज में से संचरित होंगी और प्लेट को धोने (develop) के पश्चात् पता चल जायेगा कि प्लेट काली/ धुंधली हुई या नहीं| प्लेट काली/धुंधली हुई तथा बेक्युरिल ने सोचा कि चमक में X-किरण थी| इसको सुनिश्चित करने के लिये उसने पुनः प्रतीक्षा की| परन्तु अगले कुछ दिनों तक बादल थे| बेक्युरिल की एक प्लेट के निकट काले कागज में लिपटा हुआ यौगिक था तथा वह सूर्य की प्रतीक्षा में था|

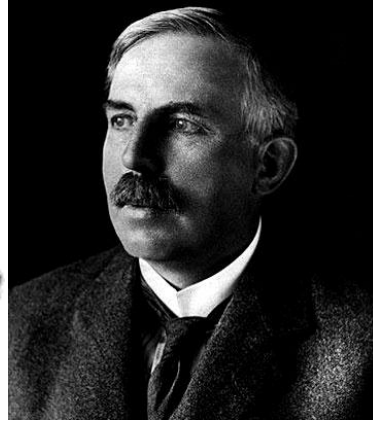
बेक्यूरिल का प्रयोग

यूरेनियम का स्फटिक
काला कागज
फोटो की प्लेट

फोटो की प्लेट
के ऊपर
दिखने वाली
किरणें

अन्त में प्रतीक्षा से ऊब कर उसने छायाचित्रित प्लेट को धोया| उसने पाया कि प्लेट काफी काली/धुंधली हो गयी है| सूर्य को दिखाये बिना भी यौगिक विकिरण दे रहा था| सत्यता में, आगे के और प्रयोगों ने दर्शाया कि यौगिक पूरे समय ही विकिरण देता रहा|

मारी स्क्लोव्दोव्क्का क्यूरी (Marie Sklowdowaka Curie) नाम की पोलिश-फ्रेंच (Polish-French) वैज्ञानिक ने 1898 में दर्शाया कि यौगिक में यह यूरेनियम (uranium) परमाणु था जो सक्रियता से विकिरण दे रहा था| क्यूरी ने यूरेनियम को रेडियोधर्मी (radioactive) पदार्थ कहा| उसने यह भी दर्शाया कि दूसरा तत्व थोरियम (thorium) भी रेडियोधर्मी था|

मेरी क्यूरी

यह स्थापित हुआ कि यूरेनियम एवं थोरियम ने तीन प्रकार के विकिरण विसर्जित किये| चुम्बक की उपस्थिति में विकिरण का एक भाग हल्का सा एक दिशा में झुका (वक्र हुआ), दूसरा भाग दूसरी दिशा में अधिक झुका तथा अन्य भाग फिर भी सीधे संचरित हुआ, जैसे कि वहां चुम्बक हो ही नहीं|

न्यूज़ीलैंड के अर्नेस्ट रदरफोर्ड (Ernest Rutherford) नाम के वैज्ञानिक ने इन तीन विकिरणों का नाम ग्रीक की वर्णमाला के प्रथम तीन अक्षरों पर रखा| हलके झुके हुए विकिरण को प्रथम अक्षर के ऊपर अल्फा-किरण (alpha-rays) कहा| जो विकिरण थोडा अधिक झुके, ऊनको दूसरे अक्षर पर बीटा-किरण (beta-rays) कहा| जो विकरण बिलकुल भी नहीं झुके, उनको तीसरे अक्षर पर गामा-किरण (gamma-rays) कहा|

अरनेस्ट रदरफोर्ड

चूँकि गामा-किरण नहीं झुकी, ऐसा प्रतीत हुआ जैसे कि ये किरण प्रकाश व X-किरण के सदृश (resembling) हों। और ऐसा ही हुआ| गामा-किरण उन तरंगों (waves) की बनी होती है जो X-किरण की तरंगों से भी छोटी होती हैं|

बीटा-किरण चूँकि चुम्बक के निकट झुकी, इसका अर्थ था कि ये किरण विद्युत् से आवेशित बीटा-कणों से बनी थीं| क्योंकि उनका पथ इतना अधिक मुड़ा, उससे यह निष्कर्ष निकला कि बीटा कण अत्यंत हलके थे| 1900 में बेक्कुएरेल दर्शा सका कि बीटा-कण वास्तव में बहुत हलके थे, क्योंकि ये इलेक्ट्रान थे|

एक तरह से यह एक पहेली थी| जब एलेक्ट्रोनों का अविष्कार हुआ था, तो वे विद्युत् धारा के कण जैसे प्रतीत होते थे| अब ये यूरेनियम तथा थोरियम परमाणुओं में से आते प्रतीत होते हैं| फिर भी इन परमाणुओं में विद्युत् धारा नहीं थी| वहां इलेक्ट्रान क्या कर रहे थे?

उस समय थोरियम एवं यूरेनियम सबसे अधिक भार वाले ज्ञात परमाणुओं के पदार्थ थे| शायद अत्यधिक भारी परमाणु कुछ विशेष थे, क्योंकि इस कारण से ये अन्य से भिन्न विशेषता रखते थे| परन्तु वास्तव में वे इतने भिन्न नहीं थे|

1899 में, थॉमसन पैरा-बैंगनी (ultra-violet) प्रकाश के साथ काम कर रहे थे| पैरा-बैंगनी प्रकाश सामान्य प्रकाश की तरंगों से कुछ ही छोटी तरंगों से बना होता है| थॉमसन ने अध्ययन किया कि जब पैरा-बैंगनी प्रकाश कुछ धातुयी सतह (surface) पर पड़ेगा तो क्या होगा?

किसी भी प्रकाश की तरंगें जितनी छोटी होंगी, उनमें उतनी ही अधिक ऊर्जा होगी| सामान्य प्रकाश की लम्बी तरंगों की तुलना में पैरा-बैंगनी तरंगे धातुयी सतह पर कठोरता से प्रहार (strike) करती हैं|

जब सामान्य प्रकाश धातु की सतह पर पड़ता है, तो अक्सर कुछ नहीं होता| फिर भी पैरा-बैंगनी प्रकाश धातु की सतह पर पर्याप्त कठोरता से प्रहार करता है, तथा धातु से कुछ निकालता (knock-out) है| थॉमसन ने पाया कि जो निकलता है वह इलेक्ट्रान हैं| उसने इसे “प्रकाश विद्युतीय प्रभाव” (photoelectric-effect) कहा| क्योंकि फोटो (photo) ग्रीक शब्द है जिसका अर्थ प्रकाश (light) है|

जैसे-जैसे वैज्ञानिकों ने प्रकाश विद्युतीय प्रभाव का अध्ययन किया, उन्हें प्रतीत हुआ कि सभी पदार्थों के टुकड़ों से एलेक्ट्रोनों को बाहर निकाला (knock-out) जा सकता है, बशर्ते कि पदार्थों को कठोरता से प्रहार किया जाये| क्योंकि पदार्थ का प्रत्येक टुकड़ा केवल परमाणुओं से बना है, इलेक्ट्रान परमाणुओं से ही आते हैं| इसका अर्थ यह हुआ कि वैज्ञानिकों ने परमाणुओं को सूक्ष्म गोलियों (balls) के समान माना, परन्तु वे नहीं माने कि उन गोलियों में कुछ और सूक्ष्म नहीं है| उनमे इलेक्ट्रान हैं|

वास्तव में, इसी प्रकार विद्युत् धारा प्रवाहित होती है| किसी भी तरह एलेक्ट्रोनों को परमाणुओं से तोड़कर कर बाहर निकालना है, तथा गति देकर पदार्थ के माध्यम से संचरित करना है| यही सम्बन्ध विद्युत् एवं पदार्थ में था|

इलेक्ट्रान के आविष्कार के पश्चात्, थॉमसन पहला व्यक्ति था जिसने समाधान करने का प्रयत्न किया कि परमाणु कैसे दिखते हैं| उसने कल्पना की कि परमाणु सूक्ष्म गोलियां होनी चाहियें जिन पर इलेक्ट्रान केक के टुकड़े पर किशमिश के समान बाहर की ओर इधर उधर चिपके हुए थे|

यह एक रोचक विचार था, परन्तु गलत था|

2. नाभि (Nuclei)

थॉमसन की कल्पना के साथ में एक परेशानी थी कि उसने अल्फा-किरणों को विवरण (स्पष्टीकरण) में नहीं लिया|

अल्फा-किरणों का पथ चुम्बक के खिंचाव (pull) के कारण वक्र हुआ और इसका अर्थ है कि अल्फा किरण उड़ते हुए (flying) विद्युत् आवेशित कणों से बनी है| फिर भी, इन "अल्फा-कणों" का पथ केवल हल्का सा वक्र था| क्या ऐसा हो सकता है कि अल्फा-कणों पर विद्युत् आवेश इतना कम था कि चुम्बक ने इन्हें कम प्रबलता से खींचा|

ऐसा नहीं था| विचारपूर्वक अध्ययन के पश्चात् यह विदित हुआ कि अल्फा-कणों में इलेक्ट्रोनों की तुलना में दुगना आवेश है| यह आवेश विपरीत प्रकार का विद्युतीय आवेश था, क्योंकि अल्फा-कण इलेक्ट्रोनों की दिशा के विपरीत दिशा में झुके (वक्र हुए)| इलेक्ट्रोनों पर विद्युतीय आवेश को ऋणात्मक माना गया तथा इसका नाप (साइज़) -1 कहा गया| अल्फा-कणों पर विद्युतीय आवेश घनात्मक है| क्योंकि इसका साइज़ इलेक्ट्रान के साइज़ से दो गुणा है, इसे +2 कहा गया|

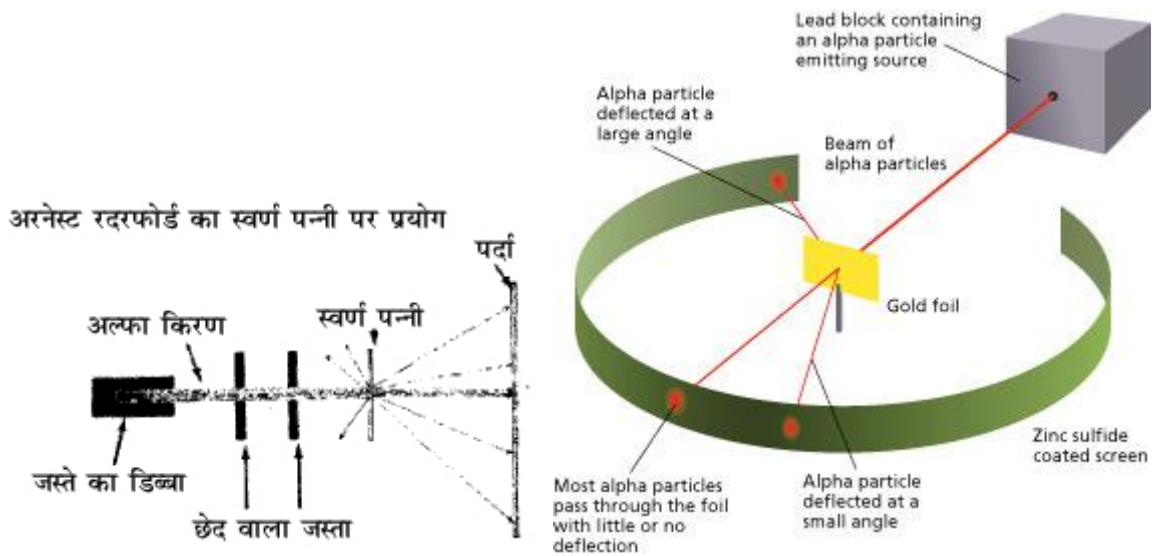
यदि इलेक्ट्रोनों की तुलना में अल्फा कणों के पास अधिक प्रबलता वाला विद्युतीय आवेश है, तो अल्फा-कणों का झुकाव इलेक्ट्रोनों के चुम्बकीय खिंचाव से होने वाले झुकाव से अधिक तीव्र क्यों नहीं है? इसका कारण यह है कि अल्फा-कण इलेक्ट्रोनों की तुलना में अत्यधिक भारी एवं विशाल (massive) हैं| इस कारण से अल्फा-कणों का सीधी रेखा के पथ से बाहर खिंचना कठिन है| वास्तव में, यह स्थापित किया गया कि अल्फा-कण इलेक्ट्रान की तुलना में 7000-गुणा से भी अधिक विशाल है|

इसका अर्थ यह हुआ कि अल्फा-कण हाइड्रोजन (hydrogen) के परमाणु की तुलना में 4-गुणा विशाल हुआ| परमाणुओं में हाइड्रोजन सबसे हल्का है| अल्फा-कण हीलियम (helium) के परमाणु के बराबर विशाल है|

यद्यपि अल्फा-कण परमाणुओं के समान भारी थे, ये साइज़ में लघु एवं परमाणु से छोटे होते हैं| फिर भी, अल्फा-कण सामान्य पदार्थों के माध्यम से कठिनाई रहित संचरित हो गए|

1906 में रदरफोर्ड (Rutherford) एक बंद पात्र (container) में अल्फा-कणों की मात्रा को पकड़ने (trap) में सफल हुआ| कुछ ही समय पश्चात् जैसे-जैसे और अल्फा-कण पात्र में प्रवेश करे, रदरफोर्ड ने पाया कि वहां हीलियम मौजूद थी| पात्र में पहले से कोई हीलियम नहीं थी|

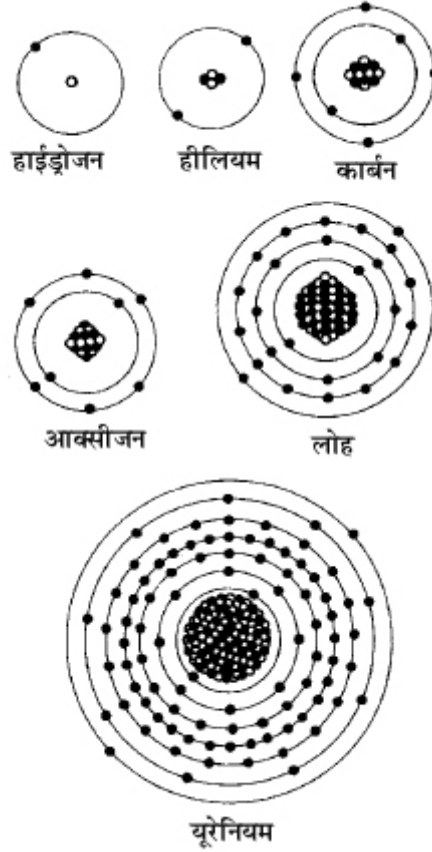
अल्फा-कण किसी प्रकार हीलियम में परिवर्तित हो गए| शायद अल्फा-कणों ने अपने में इलेक्ट्रान जोड़ लिये| इलेक्ट्रान की मात्रा (mass) इतनी कम है कि उनके योग (जोड़ने) से शायद ही कुल मात्रा में कुछ विशेष अंतर पड़ेगा|

रदरफोर्ड ने अन्य प्रकार के प्रयोगों को प्रारंभ किया| उसने रेडियोधर्मी (radioactive) पदार्थ से निकलते हुए (उड़ते हुए) अल्फा-कणों को स्वर्ण की पतली पन्नी (foil) से टकराया| अल्फा-कण सदैव बिना किसी कठिनाई के स्वर्ण पन्नी के माध्यम से संचरित हो सके| अल्फा-कण पन्नी के दूसरी ओर रखी फोटोग्राफिक प्लेट पर टकराये तथा प्लेट को काला/धुंधला किया| अल्फा-कण फोटोग्राफिक प्लेट पर वहीं टकराये जहाँ वे स्वर्ण पन्नी की अनुपस्थिति में टकराते| प्रत्येक बार कुछ अल्फा-कण, स्वर्ण पन्नी से टकराते थे, तथा कुछ वापिस लौट आते थे| तब ये फोटोग्राफिक प्लेट के दूर कोनों को काला/धुंधला करते थे|

1909 तक, रदरफोर्ड कह सके कि परमाणु की अधिकांश जगह इलेक्ट्रोनों की भीड़ (cloud) से भरी है| इलेक्ट्रान इतने हलके थे कि अल्फा-कण उनके अंदर से सरलता से पार हो गए|

फिर भी, परमाणु के केंद्र में एक लघु परन्तु भारी (massive) “परमाणु-नाभि” (atomic nucleus) है| यह इतना छोटा है तथा इतना कम स्थान लेता है कि रदरफोर्ड से अधिकतर प्रयोगों में यह छूट जाता था| जबकि प्रत्येक बार अल्फा-कण उस विशेष नाभि (nucleus) से टकराता था तथा वापिस आता था| टकराने की संख्या इतनी कम थी, कि रदरफोर्ड देख सका, कि वास्तव में नाभि को अति सूक्ष्म होना चाहिए| परमाणु के एक सिरे से दूसरे सिरे तक फ़ैलाने में लगभग 100,000 नाभियों (nuclei) की आवश्यकता होगी|

अतः अल्फा-कण, हीलियम परमाणु का मूल नाभि (base nucleus) था| जब अल्फा कणों ने अपने चारों ओर इधर-उधर से इलेक्ट्रोनों को ग्रहण किया, तो यह साधारण हीलियम परमाणु बन गया|

जैसा कि 1914 में एक अंग्रेज वैज्ञानिक हेनरी गव्यन जेफ्फ्रेय्स मोसेले (Henry Gwym Jeffreys Moseley) ने दर्शाया था, परमाणु में विद्युत् आवेश के भिन्न साइज़ ही विभिन्न परमाणुओं का ज्ञान देता है| उदाहारण के लिये, हाइड्रोजन की नाभि के पास +1 का आवेश है| हाइड्रोजन नाभि के बाहर एक इलेक्ट्रान -1 आवेश के साथ है| नाभि एवं इलेक्ट्रान के आवेश एक दूसरे को संतुलित (balance) करते हैं तथा इस प्रकार पूरे परमाणु के पास कोई आवेश नहीं होता|

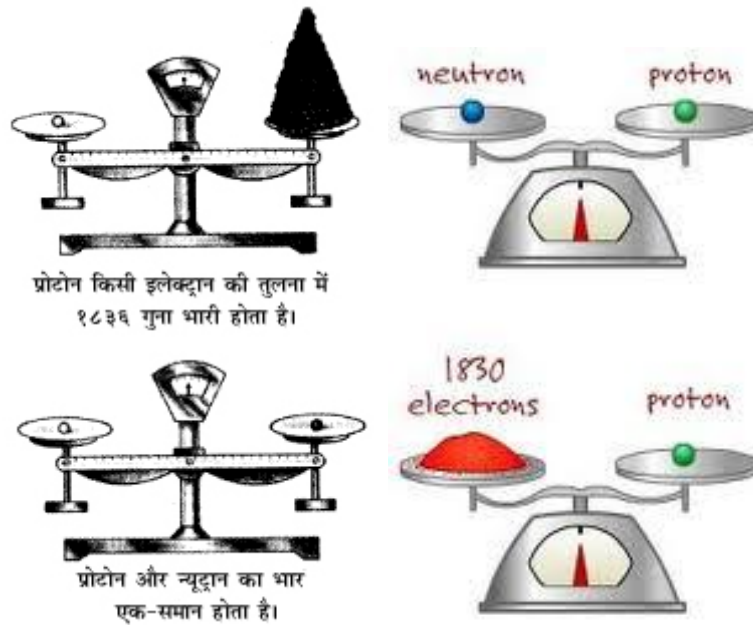
इसी प्रकार, हीलियम नाभि के पास +2 आवेश होता है तथा बाहर इसके पास कुल आवेश के -2 के साथ 2-इलेक्ट्रान होते हैं, जो इसे संतुलित करते हैं| कार्बन (carbon) नाभि के पास 6-इलेक्ट्रोनों के साथ +6 का आवेश होता है| ऑक्सीजन नाभि के पास बाहर 8 इलेक्ट्रानों के साथ +8 का आवेश होता है| लौह नाभि के पास बाहर 26-इलेक्ट्रोनों (-26) के साथ +26 का आवेश होता है| इसी प्रकार यूरेनियम नाभि के पास 92-इलेक्ट्रोनों (-92) के साथ +92 का आवेश होता है| नाभि के आवेश के साइज़ को उस तत्व की परमाणु-संख्या (atomic-number) कहते हैं| अतः, हाइड्रोजन की परमाणु संख्या 1 है, हीलियम की परमाणु संख्या 2 है, कार्बन की परमाणु संख्या 6 है, ऑक्सीजन की परमाणु संख्या 8 है, लौह की परमाणु संख्या 26 है, यूरेनियम की परमाणु संख्या 92 है, तथा इसी प्रकार अन्य तत्वों की भी परमाणु संख्या है| अब वैज्ञानिकों को 105 तत्वों का ज्ञान है जिनकी परमाणु संख्या 1 से 105 है| इसमें कोई भी परमाणु संख्या छूटी नहीं है|

1914 तक यह स्पष्ट हो गया था कि प्रत्येक परमाणु एक सूक्ष्म नाभि से बना होता है जो इलेक्ट्रोनों द्वारा घिरा रहता है|

चूँकि परमाणु की नाभि इतनी सूक्ष्म है, क्या यह अकेला कण हो सकता है? ऐसा नहीं लगा| यूरेनियम परमाणु की नाभि 2 अल्फा कण देती है, जो हीलियम नाभि है| दूसरी नाभियाँ भी सूक्ष्म कण दे सकती हैं| इस कथन से यह मानना संभव हुआ कि परमाण्विक नाभि सूक्ष्म कणों से मिलकर बनी है|

सूक्ष्मतम नाभि हाइड्रोजन की है, जिसका आवेश +1 है, तथा इलेक्ट्रान के साइज़ के बराबर है| 1914 में रदरफोर्ड ने निर्णय लिया कि इससे भी सूक्ष्म आवेश हो सकता है| उसने हाइड्रोजन नाभि को “प्रोटोन” (proton) कहा जो एक ग्रीक शब्द से लिया गया| इसका अर्थ मूल कण (fundamental particle) है| ऐसा प्रतीत हुआ कि प्रत्येक अन्य परमाणुवी नाभि प्रत्येक घनात्मक आवेश के लिये 1 प्रोटोन रखता है| अतः हीलियम नाभि के पास 2 प्रोटोन होंगें, कार्बन नाभि के पास 6 प्रोटोन होंगें, ऑक्सीजन नाभि के पास 8 प्रोटोन होंगें, लौह नाभि के पास 26 प्रोटोन होंगें, तथा यूरेनियम नाभि के पास 92 प्रोटोन होंगें|

फिर भी, इस सुझाव में सारे तथ्य सही नहीं बैठे|

उदाहरण के तौर पर, एक हीलियम नाभि के पास +2 का आवेश है, अतः इसके पास 2-प्रोटोन होने चाहियें। यदि यह केवल इतना ही रखता है तो इसके परमाणु का द्रव्यमान (mass) हाइड्रोजन नाभि के द्रव्यमान से दो-गुणा होना चाहिए। हाइड्रोजन नाभि के पास एकल (अकेला) प्रोटोन है। परन्तु हीलियम नाभि के पास जो द्रव्यमान है उसे माप (measure) सकते हैं तथा इसका मान (value) हाइड्रोजन नाभि के द्रव्यमान से चार-गुणा निकला। इसका अर्थ यह हुआ कि हीलियम नाभि के 2-प्रोटोन केवल आधे द्रव्यमान को प्रदर्शित करते हैं। शेष का क्या विवरण है?

प्रोटोन के द्रव्यमान एवं परमाणु के द्रव्यमान में अंतर, +1 से अधिक आवेश वाले सभी परमाणुओं के लिये सत्य है। उदाहरण के लिये, यूरेनियम नाभि में 92 प्रोटोन होते हैं, परन्तु इसका द्रव्यमान हाइड्रोजन नाभि के द्रव्यमान से 238 गुणा है।

वैज्ञानिकों ने इस अतिरिक्त द्रव्यमान का विवरण देने के लिये कारणों को खोजने का प्रयत्न किया, परन्तु कोई भी हल कारगर सिद्ध नहीं हुआ। तब 1932 में जेम्स चैडविक (James Chadwick) नाम के एक अंग्रेज वैज्ञानिक ने इसका हल (उत्तर) खोज निकाला।

वैज्ञानिकों ने इलेक्ट्रानों एवं प्रोटोनों की धाराओं (streams) का पता लगाने की विधियाँ स्थापित की| उन कणों में स्थित विद्युत् आवेश के कारण जल की सूक्ष्म बूंदे उन कणों के चारों ओर बन जाती थी, तथा इन बूंदों की निशानी (trail) बनाने वाले विशेष उपकरण “मेघ कक्ष” (cloud chamber) ने उन कणों के पथ को चिन्हित किया| जब अल्फा-कणों को बेरिलियम (beryllium) तत्व की नाभियों से टकराया गया, तो जो विकिरण हुआ, उसने कोई भी जल की बूँदें नहीं बनायीं|

क्लाउड चेम्बर में प्रोटोन का पथ

वैज्ञानिक विकिरण को देख नहीं पाये, परन्तु वे जानते थे कि विकिरण है, क्योंकि जब ये पैराफिन (paraffin) से टकराये तो पैराफिन की अनेक नाभियों से प्रोटोन बाहर निकले|

चैडविक को आभास हुआ कि उन प्रोटोनों को कुछ चीज तो बाहर निकाल रही है| उसे भी विशाल/भारी होना चाहिए| उदहारण के लिये, प्रोटोनों को बाहर निकालने के लिये इलेक्ट्रान तो बहुत हलके थे|

नया विशाल/भारी कण जो भी था, उसके पास विद्युत् आवेश नहीं हो सकता, नहीं तो वह जल बनाता तथा चिन्ह छोड़ता| अतः चैडविक ने कहा कि विकिरण लगभग प्रोटोन के साइज़ के कणों से बने है, परन्तु उनमे कोई विद्युत् आवेश नहीं है| नये कण न तो घनात्मक थे और न ही ऋणात्मक थे| वे तटस्थ (बल्शुन्य) थे| अतः उसने इन कणों को न्यूट्रॉन (neutron) कहा| इसने परमाण्विक नाभि की समस्या का समाधान किया| नाभि में प्रोटोन एवं न्यूट्रॉन दोनों ही विद्यमान हैं| हीलियम नाभि 2-प्रोटोन तथा 2-न्यूट्रॉन से बना था| 2-प्रोटोनो ने इसे +2 का आवेश दिया| 2-प्रोटोन तथा 2

न्यूट्रॉन के मिलने पर इसका द्रव्यमान हाइड्रोजन नाभि के एकल प्रोटोन की तुलना में 4-गुणा हो गया|

दूसरे नाभियों के विषय में भी यह सत्य था| हाइड्रोजन के अतिरिक्त जिसमे एकल प्रोटोन युक्त नाभि थी, सभी में प्रोटोन तथा न्यूट्रॉन थे| यूरेनियम नाभि में 92-प्रोटोन तथा 146-न्यूट्रॉन थे| इसका आवेश +92 था, परन्तु इसका द्रव्यमान प्रोटोन के द्रव्यमान से 92 + 146 अथवा 238 गुणा है|

किसी विशेष तत्व की प्रत्येक नाभि में प्रोटोन समान संख्या में हैं| फिर भी, न्यूट्रॉनों की संख्या एक परमाणु से दूसरे परमाणु में थोड़ा सा भिन्न हो सकती है| उदहारण के लिये, यूरेनियम के कुछ नाभियों में 92 प्रोटोन, परन्तु केवल 143 न्यूट्रॉन हैं| आवेश तब भी +92 है| परन्तु इसका द्रव्यमान प्रोटोन के द्रव्यमान से 92 + 143 = 235 गुणा है|

समान संख्या के प्रोटोन परन्तु भिन्न संख्या के न्यूट्रॉन वाली नाभियाँ “आइसोटोप” (isotopes) कहलाते हैं| नाभियों में कुल कणों की संख्या के अनुसार इनका नाम रखा जाता है| 92-प्रोटोन तथा 146-न्यूट्रॉन के साथ यूरेनियम नाभि “यूरेनियम -238” है| परन्तु जिसमे 92-प्रोटोन तथा 143-न्यूट्रॉन हैं, उसे “यूरेनियम -235” कहते हैं|

एक विशेष तत्व के आइसोटोप समान रूप से आम (equally common) नहीं होते| एक अत्यधिक आम हो सकता है, तथा दूसरा दुर्लभ| उदहारण के लिये, प्रत्येक 1000 यूरेनियम परमाणुओं में 993 यूरेनियम-238 हैं, तथा केवल 7 यूरेनियम-235 हैं|

3. नाभिकीय (परमाणु) ऊर्जा (Nuclear Energy /Atomic Energy)

यूरेनियम जैसे रेडियोधर्मी तत्व से उत्पन्न विकिरण में ऊर्जा बहुतायत में होती है| उदहारण के लिये, गामा-किरणों में प्रकाश की तुलना में अत्यंत अधिक ऊर्जा होती है| अल्फा एवं बीटा-कण अत्यंत उच्च वेग (15,000 - 20,000 कि० मी० प्रति से० से भी अधिक) से संचरित होते हैं| और यह वेग उन्हें ऊर्जावान बनाता है|

रेडियोधर्मी तत्व से कितनी ऊर्जा उत्पन्न हो सकती है, इसको ज्ञात करने के लिये सर्वप्रथम फ्रांसिसी वैज्ञानिक पियरे क्यूरी (Pierre Curie) थे, जो मारी क्यूरी (Marie Curie) के पति थे| 1901 में रेडियोधर्मी तत्व रेडियम (radium) द्वारा निष्काषित ऊर्जा को मापा| इस तत्व का आविष्कार 3-वर्ष पूर्व उसने तथा उसकी पत्नी ने किया था| अध्ययन के लिये रेडियम की मात्रा बहुत कम उपलब्ध थी| परन्तु मापने से उसने प्रदर्शित किया कि यदि 1-औंस (लगभग 30-ग्राम) रेडियम

एक साथ एक स्थान पर रखा जाये तो 1-घंटे में लगभग 4000-कैलोरी ऊर्जा वाले विकिरण तथा कण विसर्जित (given-off) होंगें|

पियरे क्यूरी

एक प्रकार से यह ऊर्जा कुछ भी नहीं है| जब 1-औंस पेट्रोल (gasoline) को जलाया जाता है तो 325,000 कैलोरी उत्पन्न होती हैं| जो रेडियम से 1-घंटे में दी गयी ऊर्जा से लगभग 80-गुणा है|

एक बार 1-औंस पेट्रोल को जलने से जो ऊर्जा मिलती है, उसके पश्चात् पेट्रोल समाप्त हो जाता है तथा इसके पश्चात् उसमे कोई ऊर्जा नहीं होती| दूसरी ओर, रेडियम 1-घंटे में 4000-कैलोरी उत्पन्न करने के पश्चात् भी निरंतर ऊर्जा देता रहता है|

दूसरे घंटे में, 1-औंस रेडियम 4000-कैलोरी और उत्पन्न करता है, तथा इसके पश्चात् भी प्रत्येक 1-घंटे में 4000-कैलोरी ऊर्जा उत्पन्न होती रही| 80-घंटे के पश्चात्, इसने पेट्रोल के जलने पर प्राप्त ऊर्जा के बराबर ऊर्जा दी| 800-घंटों के पश्चात् इसने पेट्रोल जलने से प्राप्त ऊर्जा का 10-गुणा ऊर्जा उत्पन्न की| 8000-घंटों के पश्चात् इसने 100-गुणा ऊर्जा उत्पन्न की|

यह सत्य है, कि रेडियम समय व्यतीत होने के साथ कम ऊर्जा उत्पन्न करता है, परन्तु बहुत धीरे धीरे| आखिरकार, उत्पत्ति की दर (rate) केवल प्रारंभ की तुलना में आधे तक गिर जाती है| परन्तु यह केवल तब तक होता है, जब रेडियम 1620 वर्ष ऊर्जा दे चुका होता है| जब रेडियम विकरित (radiate) होना बिल्कुल बंद हो जाता है, तब तक यह लगभग पेट्रोल की समान मात्रा से प्राप्त ऊर्जा की तुलना में 250,000-गुणा ऊर्जा दे चुका होगा|

यह सब ऊर्जा कहाँ से आती है?

1840 से, वैज्ञानिक बिलकुल निश्चित थे, कि ऊर्जा कहीं से तो आती है, तथा वह रेडियोधर्मिता (radioactivity) के लिये भी जाती है|

वैज्ञानिक इस तथ्य से अवगत थे, कि जब रसायन एक दूसरे से संयुक्त (combined) होते हैं, तो ऊर्जा उत्पन्न होती है| उदहारण के लिये, जब लकड़ी, अथवा कोयला (coal), या पेट्रोल जलता है तो ईंधन (fuel) के कार्बन एवं हाइड्रोजन के परमाणु वायु की ऑक्सीजन के परमाणुओं से संयुक्त होते हैं, तो ऊर्जा उत्पन्न होती है| इस प्रकार के संयोग को रासायनिक प्रतिक्रिया को (chemical reaction) कहते हैं, तथा इस तरह से उत्पन्न ऊर्जा को रासायानिक ऊर्जा को **(chemical energy)** कहते हैं|

एक बार, वैज्ञानिक परमाणु की संरचना समझ गए, तो वे देख सके कि रासायनिक प्रतिक्रियाएं तब होती हैं, जब इलेक्ट्रान एक परमाणु से दूसरे परमाणु में स्थान्तरित (shift) होते हैं| कुछ इलेक्ट्रोनों का व्यवस्थापन (arrangement) परमाणु संरचना में पर्याप्त ऊर्जा के साथ रहता है, जबकि दूसरे इलेक्ट्रान कम ऊर्जा के साथ रहते हैं| जब व्यवस्थापन उच्च ऊर्जा वाली संरचना से निम्न ऊर्जा वाली संरचना पर स्थान्तरित होता है, तो अतिरिक्त ऊर्जा को क्या होता है? यह प्रकाश, ऊष्मा, तथा ऊर्जा के दूसरे रूपों में जाती है|

परन्तु, यह तो केवल इलेक्ट्रोनों के विषय में ही है| परमाण्विक नाभि में प्रोटोन एवं न्यूट्रॉन के विषय में क्या? कुछ प्रोटोन-न्यूट्रॉन व्यवस्थापन संरचना में पर्याप्त ऊर्जा बंधी (tied) हुई होती है| दूसरे व्यवस्थापन कम ऊर्जा रखते हैं| यदि उच्च ऊर्जा व्यवस्थापन, निम्न ऊर्जा व्यवस्थापन की ओर स्थान्तरित होता है, तो अतिरिक्त ऊर्जा पुनः निकलेगी| इस बार यह अत्यंत लघु तरंगों के विकिरण के रूप में अथवा अत्यंत उच्च वेग के कणों के रूप में निकलेगी|

रेडियोधर्मिता में, यूरेनियम, थोरियम, रेडियम, तथा इसी प्रकार के अन्य तत्व के नाभि में प्रोटोनों तथा न्यूट्रॉनों को इस तरह पुनः व्यवस्थित किया जाये, जिससे कम ऊर्जा जुड़ी हो| इसे नाभिकीय (nuclear) अथवा आणविक (atomic) प्रतिक्रियाएं कहते हैं| नाभि के प्रोटोन तथा न्यूट्रॉन, इलेक्ट्रोनों से बहुत अधिक भारी होते हैं| ये इलेक्ट्रोनों की तुलना में अत्यंत कसकर (tightly) एवं घनिष्ठ रूप (closely) से आयोजित (held) रहते हैं| इसका अर्थ यह हुआ कि प्रोटोन एवं न्यूट्रॉन संरचना के साथ आयोजित ऊर्जा इलेक्ट्रोनों के साथ आयोजित ऊर्जा से बहुत अधिक होती है| यही कारण है कि रेडियोधर्मिता की स्थिति में मिलने वाली ऊर्जा पेट्रोल के जलने से प्राप्त ऊर्जा से अत्यंत अधिक होती है|

जब वैज्ञानिकों ने विभिन्न नाभिओं का अध्ययन किया, तो वे जान सके कि मध्य (बीच) साइज़ के नाभियों के पास सबसे कम ऊर्जा होती है| यूरेनियम तथा थोरियम जैसे भारी नाभिओं के पास अधिक ऊर्जा होती है| यदि ये अपनी नाभियों को कम ऊर्जा के साथ छोटी नाभियों में पुनः व्यवस्थित करें, तो प्रारंभ करने के लिये अतिरिक्त ऊर्जा उनके पास है, जो विकिरण तथा कणों के रूप में निकलेगी|

इसी तरह से, सबसे हल्की नाभियों में कम ऊर्जा बंधी रहेगी| यदि उनके कण कुछ बड़े नाभियों में पुनः व्यवस्थित करेंगें तो पुनः अतिरिक्त ऊर्जा विकिरण एव कणों के रूप में निकलेगी| इसने वैज्ञानिकों को लगभग 100 वर्षों से बनी पहेली का उत्त्तर दे दिया| सूर्य प्रत्येक दिशा में अत्यधिक ऊर्जा देता है| सूर्य यह अरबों वर्षों से करता रहा है| यह ऊर्जा कहाँ से आती है? पहले इसका कोई भी संतोषजनक उत्तर नहीं था|

हाइड्रोजन से हीलियम बनने की प्रक्रिया

यद्यपि खगोल वैज्ञानिकों (astronomers) ने पाया कि सूर्य का बाहरी भाग मुख्यतः हाइड्रोजन था| हैंस अल्बर्च्त बेथे (Hans Albrecht Bethe) नाम के जर्मन - अमेरिकन वैज्ञानिक ने 1938 में दर्शाया कि 1-प्रोटोन से बने 4-हाइड्रोजन नाभि, हीलियम के 1 नाभि में पुनः व्यवस्थित हो सके| हीलियम नाभि 2-प्रोटोन तथा 2-न्यूट्रॉन से बना है| इसके परिणाम स्वरुप, ऊर्जा निकलेगी| यह सूर्य के अब तक प्रकाशित होने के कारण पर प्रकाश डाल सका| यह ज्ञान आणविक ऊर्जा के लिये अत्यंत महत्वपूर्ण है|

अब वैज्ञानिक आणविक ऊर्जा एवं परमाणु नाभियों में बंद विशाल (enormous) ऊर्जा के विषय में जान गये थे| उन्हें आश्चर्य होने लगा, कि क्या लोग इस ऊर्जा का उपयोग संसार के अनेक कार्यों को करने में कर सकेंगे? लोग हजारों वर्षों से लकड़ी, कोयला, या तेल जलाते थे जिसमे इलेक्ट्रोनों के स्थान्तरण के लिये रासायनिक ऊर्जा का उपयोग होता था| क्या अब वे प्रोटोनों एवं न्यूट्रॉनों को स्थान्तरित करने में आणविक ऊर्जा का उपयोग कर सकेंगें?

जब ऊर्जा को मानव द्वारा उपयोग किया जाता है, तो इसे शक्ति (power) कहते हैं| प्रश्न यह था कि क्या मानव जाति, आणविक शक्ति का लाभ ले सकेगी?

यद्यपि आणविक ऊर्जा बहुतायत में है, परन्तु यह धीरे-धीरे बाहर आती है| सबसे सामान्य रेडियोधर्मी तत्व यूरेनियम व थोरियम हैं, और उनकी ऊर्जा बाहर आने में अरबों वर्ष लगेंगें|

और अधिक क्या? वैज्ञानिकों के लिये इस ऊर्जा को तेजी से बाहर निकालना सरल नहीं था| रासायनिक प्रतिक्रियाओं को तेज करना सरल था| माचिस को जलाने के पूर्व उसे प्रकाशित (lit) करना पड़ता है| परन्तु माचिस के रसायन धीरे-धीरे वायु की ऑक्सीजन से संयोग करते हैं| फिर भी, एक बार माचिस को खुरदरी सतह पर रगड़ कर गर्म करने से संयोग की दर तीव्र हो जायेगी, तथा माचिस आग की ज्वाला बन जायेगी| यदि नाइट्रोग्लीसरिन (nitroglycerene) का जार किसी वस्तु से टकरायेगा, तो यह विस्फोटित (explode) होगा|

यह ऐसा इसलिये है, क्योंकि इलेक्ट्रान परमाणु के बाहय (outer) कक्ष (orbit) में हैं| इनके पास ऊष्मा अथवा आघात (blows) अथवा अन्य परिवर्तन द्वारा सरलता से पहुंचा जा सकता है| ये परिवर्तन, परमाणु से परमाणु पर इलेक्ट्रोनों को स्थान्तरित करने की गति को तीव्र कर देते हैं|

दूसरी ओर, नाभियाँ परमाणुओं के केंद्र में गहराई से छिपी हुई हैं| उनके पास सरलता से नहीं पहुंचा जा सकता है| उदहारण के लिये, यूरेनियम की रेडियोधर्मीता को गर्म करके अथवा आघात करने अथवा ऐसा कुछ करने से तीव्र नहीं किया जा सकता| यूरेनियम अत्यंत धीरे धीरे ऊर्जा देता रहता है| यह प्रक्रिया (process) इतना धीमी है, कि इसे शक्ति के स्रोत के रूप में उपयोग करना संभव नहीं है|

इसके लिये कुछ ऐसा चाहिये, कि जो इलेक्ट्रोनों के साथ परमाणु के बाहय भाग तक (right through) जाने का प्रबंध कर सके, तथा नाभि को ही अघात कर सके|

इस कार्य को करने के लिये सबसे पहले, वैज्ञानिक जो जानते थे, वे अवपरमाणवीय (subatomic) कण थे| अल्फा कण सबसे अधिक दक्ष (efficient) थे, जो अधिकांशतः रेडियोधर्मी पदार्थों से निकलते थे| ये इतने अधिक भारी/विशाल थे कि वे इलेक्ट्रोनों के माध्यम से इतनी सरलता से पार हो सकते थे, जैसे कि वहां इलेक्ट्रान थे ही नहीं| यदि अल्फा कण नाभि पर अघात करेंगें तो क्या होगा?

4. नाभिकीय/परमाणुवी प्रतिक्रियायें (Nuclear Reactions)

सर्वप्रथम, रदरफोर्ड (Rutherford) ने अल्फा कणों को उद्देश्य पूर्वक नाभियों से टकराया| 1919 में उसने अल्फा-कणों को तेजी (crashing) से नाइट्रोजन गैस के पात्र (container) में प्रवेश कराया| वह हर समय पात्र में दौड़ते (speeding) हुए प्रोटोनों को देख पाया| ये कहाँ से आये?

वास्तव में क्या हुआ? अल्फा-कण कभी कभी नाभि से टकराते, तथा उड़ते हुए प्रोटोनों को बाहर भेजते हैं| नाइट्रोजन नाभि में जो शेष रहा, अल्फा-कण उसमे चिपक जायेंगें| नाइट्रोजन नाभि ने 7-प्रोटोनों के साथ शुरुआत की| इसने 1-प्रोटोन खो दिया, परन्तु 2-अल्फा कणों को प्राप्त किया| अंत में इसके पास 8-प्रोटोन थे, तथा इसने इसे एक ऑक्सीजन नाभि बना दिया|

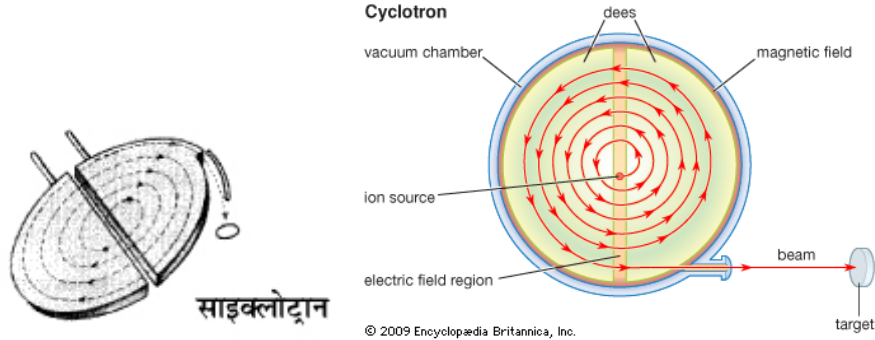
यह मानव निर्मित प्रथम नाभिकीय प्रतिक्रिया थी| यह पहली बार था, कि किसी ने 1 तत्व को दूसरे तत्व में परिवर्तित किया था|

रदरफोर्ड ने भी अल्फा कणों को दूसरे तत्वों के साथ बौछार (bombard) करके नाभिकीय प्रतिक्रिया उत्पन्न की| तथापि, केवल रेडियोधर्मी पदार्थों से उत्पादित अल्फा कणों में ही विद्युत् की कुछ मात्रा होती है| ये अल्फा-कण कुछ बल के साथ केवल नाभियों पर ही टकरा सकते हैं| ऐसा करने पर, ये केवल कुछ ही नाभिकीय प्रतिक्रियाएं उत्पन्न कर सकते हैं|

वैज्ञानिकों ने, अवपरमाणवीय कणों (subatomic-particles) को तीव्रतम गति से अधिक ऊर्जा के साथ टकराने की विधियों पर काम करने का प्रयत्न किया|

जब वैज्ञानिकों ने हाइड्रोजन को गर्म किया तो वे हाइड्रोजन के एकल (single) इलेक्ट्रान को बाहर निकाल सके, तथा शेष केवल एकल प्रोटोन युक्त नाभि रह गया| प्रोटोन को तब चुम्बक के प्रभाव में लाया जा सका| एक उचित एवं व्यवस्थित उपकरण द्वारा एकल प्रोटोन को चुम्बक की ओर खींचा जा सका, तथा इसको तीव्र और तीव्र बनाया जा सका| जब प्रोटोन ने अत्यधिक ऊर्जा प्राप्त कर ली, तो यह उपकरण से बाहर भाग सका, तथा प्रोटोनों व न्यूट्रॉनों को पुनः व्यवस्थित करते हुए, नाभि में जोर से टकरा सका|

इस प्रकार का आणविक तोड़ - फोड़क (atomic smasher) बनाने वाले प्रथम व्यक्ति, एक अंग्रेज वैज्ञानिक जॉन डगलस कौक क्राफ्ट (John Douglas Cockcroft) एवं उसका आयरिश (Irish) सहयोगी एर्नस्ट टोमास सिंटों वाल्टन (Ernest Thomas Sinton Walton) थे| उन्होंने 1929 में यह उपकरण बनाया| 1931 में उन्होंने तीव्र प्रोटोनों को हल्के तत्व लिथियम (lithium) की आणविक नाभि को तोड़ने के लिये उपयोग किया|

दूसरे वैज्ञानिकों ने अन्य प्रकार के आणविक तोड़-फोड़क बनाये| जो सबसे सफल था, उसे बनाने वाले एर्नस्ट ऑर्लैंडो लॉरेंस (Ernst Orlando Lawrence) नाम का एक अमेरिकी वैज्ञानिक था| 1930 में उसने "साइक्लोट्रोन" (cyclotron) बनाया|

"साइक्लोट्रोन" की संरचना इस प्रकार की गयी थी कि चुम्बक गोल-गोल फैलते हुए (expanding) वृत (circle) में चल सके| जैसे जैसे प्रोटोन आगे फैलते गये, वे तीव्र और तीव्र गति से आगे बढ़े| जिस समय उनकी वृतीय गति उस बिंदु तक पहुंची, जहाँ से वे साइक्लोट्रोन से बाहर आये, उनके साथ ऊर्जा की विशाल मात्रा थी|

1930-1940 के काल में, वैज्ञानिक अधिकतम ऊर्जा वाले प्रोटोनों से सब प्रकार की नाभियों को टकराते रहे| उन्होंने अधिक से अधिक नाभिकीय प्रतिक्रियाएं उत्पन्न की|

वे प्रोटोनों एवं नयूट्रोनों को पुनः व्यवस्थित करते रहे, तथा इसका पर्याप्त ज्ञान प्राप्त किया, कि आणविक नाभि किस प्रकार बनी है|

यद्यपि, वैज्ञानिक नाभियों के विषय में अधिक से अधिक ज्ञान प्राप्त कर रहे थे, परन्तु वे अणु शक्ति (nuclear power) का उपयोग करना नहीं सीख रहे थे| उनके द्वारा उत्पन्न नाभिकीय प्रतिक्रियाओं ने बहुत कम ऊर्जा उत्पन्न की| इसके अतिरिक्त, वैज्ञानिकों को तीव्र गतिमान प्रोटोनों को उत्पन्न करने में अत्यधिक ऊर्जा का उपयोग करना पड़ता था| वास्तव में कुछ ही प्रोटोन, नाभियों से टकराते थे| उनमे से अधिकांश, टकराये बिना ही साथ में ही चले जाते थे, तथा उनकी ऊर्जा व्यर्थ जाती थी|

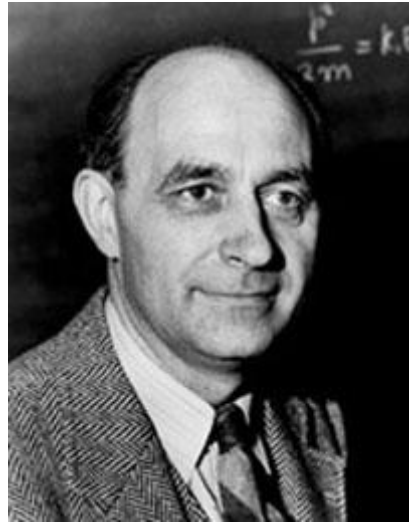
परिणाम यह था, कि वैज्ञानिक अल्प परमाणु ऊर्जा को उत्पन्न करने के लिये विद्युतीय एवं चुम्बिकीय ऊर्जा की विशाल मात्रा का उपयोग करते थे|

1937 में मृत्यु के समय तक रदरफोर्ड निश्चित था, कि परमाणु शक्ति का उपयोग को लोग कभी नहीं सीख पाएंगे| वह सोचता था कि जितनी ऊर्जा प्राप्त होगी, उससे कहीं अधिक इसके लिये उपयोग करनी पड़ेगी|

अल्फा-कणों एवं प्रोटोनों का उपयोग करने में एक समस्या यह थी, कि इनके पास घनात्मक विद्‌युतीय आवेश होता है| परमाणु की नाभि में भी घनात्मक आवेश होता है| दो घनात्मक आवेश एक दूसरे को दूर करते हैं, अर्थात एक दूसरे को धक्का देते हैं|

जब भी एक अल्फा-कण अथवा प्रोटोन नाभि के पास पहुँचता है, प्रतिकर्षण (repulsion) के कारण यह थोड़ा सा दूर मुड़ जाता है| इस कारण से टकराने की संख्या कम हो जाती है|

न्यूट्रॉन के विषय क्या है? यद्‌यपि इसके पास कोई विद्‌युतीय आवेश नहीं है तथा नाभि इसको जबरदस्त धक्का देगी| क्या तब भी न्यूट्रॉन के पास नाभिकीय प्रतिक्रिया करने हेतु पर्याप्त आवेश है?

विद्‌युत्‌ आवेश पर खिंचते हुए, चुम्बक प्रोटोनों के संचरण को तीव्र करते हुए, अधिक ऊर्जा युक्त कर देते हैं| चूँकि न्यूट्रॉनो के पास कोई आवेश नहीं है, इसको खींचा नहीं जा सकता, तथा इनका तीव्र संचरण भी नहीं किया जा सकता|

1934 में एनरिको फर्मी (Enrico Fermi) नाम के एक इटालियन वैज्ञानिक ने निर्णय लिया कि न्यूट्रॉनों का तीव्र संचरण आवश्यक नहीं है| माना कि न्यूट्रॉनों के पास अल्प ऊर्जा है, तथा ये धीरे-धीरे घिसटते है| यदि ये उचित दिशा में संचरण करते हैं, तब ये आणविक नाभि के पास तक आ सकते हैं, तथा इसमें पिघल/घुल सकते हैं| नाभि का घनात्मक आवेश न्यूट्रॉन को धक्का नहीं देगा|

संयुक्त हुए न्यूट्रॉन, प्रोटोन - न्यूट्रॉन की व्यवस्था को अस्त व्यस्त (upset) कर सकते हैं, तथा इनके पुनः व्यवस्थित होने का कारण भी हो सकते हैं|

फर्मी ने ऐसे नाभियों को धीमे न्यूट्रॉनों से टकराना प्रारंभ किया और पाया कि अनेक स्थतियों में, नाभि न्यूट्रॉनों को आत्मसात (absorb) कर लेता है, तत्पश्चात अपने को इस तरह पुनः व्यवस्थित

करता है, कि न्यूट्रॉन, प्रोटोन में परिवर्तित हो जाये| तब प्रतिक्रिया प्रारंभ करने के लिये नाभि के पास पूर्व में रहे प्रोटोनों से एक प्रोटोन अधिक हो जायेगा| यह एक नया तत्व बन गया, जो पुराने की तुलना में 1-अधिक परमाणु संख्या (atomic number) वाला होगा|

उदाहारण के लिये, फर्मी ने रहोडियम (rhodium) तत्व के नाभि को टकराया (bombarded)| रहोडियम की परमाणु संख्या 45 है, जो 46 परमाणु संख्या वाले पैलेडियम (palladium) में परिवर्तित हो गया| दूसरे उदहारण के लिये, उसने 49 परमाणु संख्या वाले इन्डियम (indium) को परमाणु संख्या 50 के टिन (tin) में परिवर्तित किया|

उस समय अधिकतम परमाणु संख्या वाला ज्ञात तत्व यूरेनियम था, जिसकी परमाणु संख्या 92 थी| फर्मी ने आश्चर्य किया कि क्या यूरेनियम को न्यूट्रॉन से टकराकर 93 परमाणु संख्या का नया तत्व उत्पन्न करना संभव है? तत्व प्रकृति में अज्ञात था| इस तरह फर्मी बिलकुल एक नये तत्व को बना सकेगा|

फर्मी ने यूरेनियम से न्यूट्रॉनों को टकराया, तत्पश्चात उसने परीक्षण किया कि प्राप्त विकिरण किस प्रकार के हैं| विभिन्न विकिरण एवं उनके साथ संयुक्त ऊर्जा से वैज्ञानिक तय कर पाये कि किस प्रकार की नाभियाँ बनी हैं|

फर्मी ने सोचा कि उसने नया तत्व 93 बनाया है, परन्तु विकिरण के परिणाम अस्पष्ट थे, इसलिये वह निश्चित तौर पर कुछ नहीं कह पाया|

अन्य लोगों ने भी इस समस्या से निपटने का प्रयत्न किया| उनमे से एक ओटो हान (Otto Hahn) नाम का जर्मन वैज्ञानिक था, जिसने लिस मेइट्नेर (Lise Meitner) नाम के एक ऑस्ट्रियन (Austrian) सहयोगी के साथ काम किया|

उन्होंने आश्चर्य किया कि कहीं ऐसा तो नहीं है, कि शायद यूरेनियम परमाणु कण को प्राप्त न करके बल्कि खोता हो| माना कि परमाणु ने अल्फा-कणों का जोड़ा (pair) दिया हो| यदि अल्फा-कण (सब मिलाकर 4-प्रोटोनों के साथ) यूरेनियम-92 से अलग हुआ, तो क्या बनेगा? क्या यह परमाणु संख्या 88 के साथ रेडियम होगा?

कोई भी रेडियम सूक्ष्म मात्रा में होगा| इसकी उपस्थिति का परीक्षण कैसे होगा?

एक विधि बेरियम (barium) तत्व को उपयोग में लेकर करने की थी| बेरियम की परमाणु संख्या 56 है, तथा इसके रासायनिक गुण रेडियम के रासायनिक गुणों के समान हैं| जो कुछ भी बेरियम के साथ होगा, रेडियम के साथ भी होगा|

1938 में हान तथा मेइट्नेर ने बेरियम को यूरेनियम में मिलाया, तत्पश्चात इसे पुनः बाहर निकाला| जो भी उन्होंने बेरियम को निकालने के लिये किया, उससे रेडियम भी बाहर आयेगा| इसका अर्थ था कि हान तथा मेइट्नेर के द्वारा सोचे हुए विकिरण भी बाहर आयेंगें|

निश्चित ही, जब बेरियम बाहर आया, इसके साथ विकिरण आये| हान तथा मेइट्नेर को निश्चित तौर पर आभास था, कि उनका सिद्धांत सही था, तथा यूरेनियम से रेडियम बना|

इसके पश्चात् उन्होंने बेरियम तथा रेडियम को प्रथक करने की रासायनिक विधियों से विकिरण को प्रथक करने का प्रयास किया| वे असफल रहे| उन्होंने कुछ भी किया, परन्तु विकिरण बेरियम के साथ रहे|

तब उनके कार्य को अस्तव्यस्त करने वाला कुछ हुआ| उस समय अडोल्फ़ हिटलर (Adolf Hitler) जर्मनी में शासन कर रहा था, तथा यहूदियों को उनकी नौकरियों से निकाला जा रहा था, अन्यथा उत्पीड़ित किया जा रहा था| लिस मेइट्नेर यहूदी थी, परन्तु वह ऑस्ट्रियन भी थी| अतः वह कुछ समय के लिये सुरक्षित थीं| फिर भी मार्च 1938 में, हिटलर ने अपने सैन्य दल को ऑस्ट्रिया भेजा, तथा उस देश को अपने नियंत्रण में ले लिया| मेइट्नेर अब सुरक्षित नहीं थीं | वह देश छोड़ कर स्वीडन चली गयीं|

स्वीडन में मेइट्नेर ने उस काम के विषय में सोचा, जिस पर वह हान के साथ कर रही थीं | उसने आश्चर्य किया कि क्या उनके बेरियम में कुछ भी रेडियम था? शायद जब न्यूट्रॉन, यूरेनियम से टकराये, एक विशेष प्रकार का रेडियोधर्मी बेरियम बना| यूरेनियम में डाले गये सामान्य बेरियम के साथ यह नया बेरियम, यूरेनियम से बाहर आ गया| हालाँकि दोनों को प्रथक नहीं किया जा सका|

परन्तु कैसे 92 परमाणु संख्या के यूरेनियम से 56 परमाणु संख्या का बेरियम बन सकता है?

सबसे बड़ा कण जो नाभि से अलग हो सकता था, वह 2 परमाणु संख्या वाला अल्फा-कण था| बेरियम को बनने के लिये यूरेनियम नाभि से 18 अल्फा कणों को प्रथक होना था, और इसका कोई चिन्ह नहीं था कि ऐसा हुआ|

मेइट्नेर को आश्चर्य हुआ कि शायद एक ही बार (step) में बेरियम बना| माना कि न्यूट्रॉनों ने यूरेनियम नाभि को दो में विभजित किया, जिससे बेरियम सहित अन्य छोटे नाभि बने| इस प्रकार के विभाजन को कभी कभी “विभंजन” (fission) कहते हैं| अतः मेइट्नेर, “यूरेनियम विभंजन” (uranium fission) के विषय में सोच रही थीं |

मेइट्नेर ने अपने भतीजे (nephew) ओटो रोबर्ट फ्रिस्च (Otto Robert Frisch) के साथ यूरेनियम विभंजन के विषय में अपने विचार देते हुए एक घोषणा लिखी| यह जनवरी, 1939 में छपी| छपने से

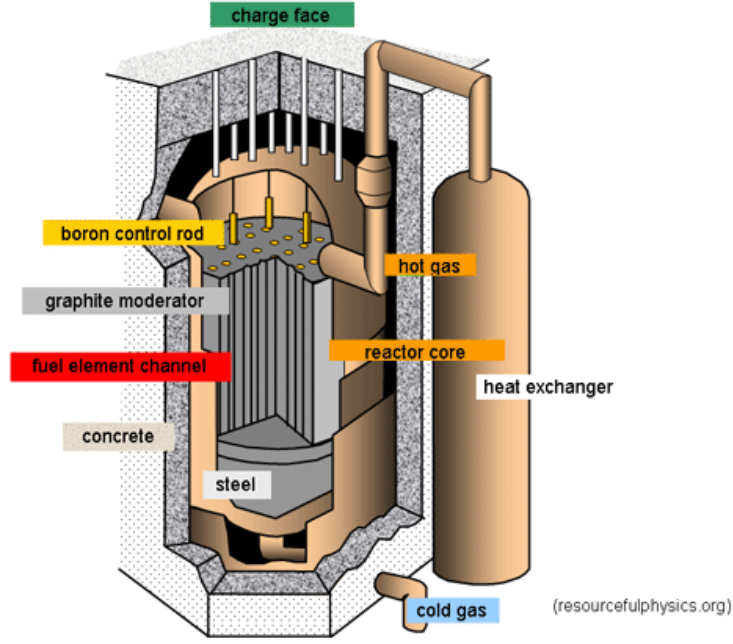
पूर्व फ्रिस्च ने इस धारणा की, डेनिश (Danish) वैज्ञानिक नील्स बोहर (Niels Bohr) के साथ चर्चा की|

नील्स ब्होर

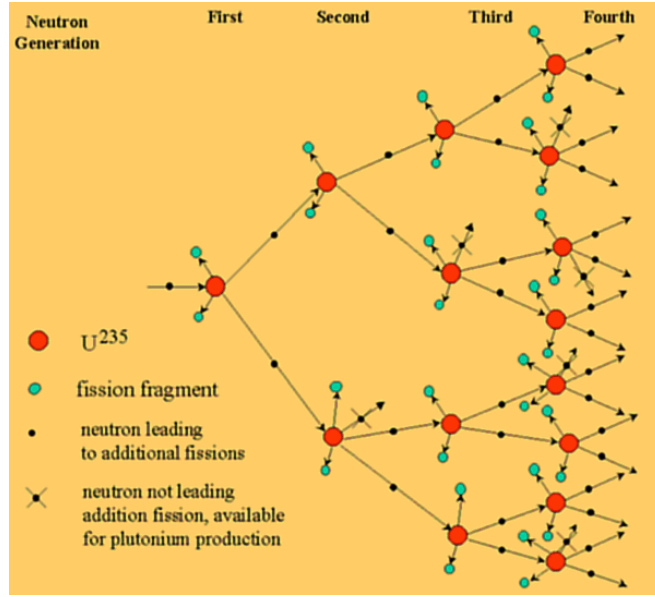
उस समय बोहर आणविक नाभि तथा नाभिकीय प्रतिक्रियाओं में रुचि रखने वाले वैज्ञानिकों के सम्मलेन में अमेरिका जाने के लिये रास्ते में था| उसने अन्य वैज्ञानिकों को यह धारणा बतायी, तो सभी सम्मलेन छोड़ कर इस धारणा के परीक्षण के लिये अपनी अपनी प्रयोगशाला में चले गये| जब उन्होंने इस धारणा का अध्ययन कर लिया कि यूरेनियम से न्यूट्रॉन के टकराने से क्या होता है, तब विभंजन की सम्भावना को मस्तिष्क में रखते हुए उन्होंने देखा कि यह सब वैसा ही है जैसा हुआ|

जब न्यूट्रॉन, यूरेनियम नाभियों से टकराये, तो ये नाभियाँ दो भागों में विभाजित हो गयी, तथा विशेष रूप से विशाल मात्रा में ऊर्जा उत्पन्न हुई|

5. परमाणु भट्टियाँ / नुक्लेअर रिएक्टर (Nuclear Reactors)

अणु भट्टी कैलिफोर्निया

नाभिकीय विभंजन के समाचार सुनने वालों में एक हंगेरियन वैज्ञनिक, लियो स्ज़िलार्ड (Leo Szilard) था| उसने देखा कि जब यूरेनियम परमाणु का विभंजन हुआ, तो इसने 2 अथवा 3 न्यूट्रॉन उत्पन्न किये|

माना कि यूरेनियम परमाणु विघटित हुआ तथा इसने 2-न्यूट्रॉन उत्पन्न किये, तथा प्रत्येक न्यूट्रॉन, यूरेनियम परमाणु से टकराया| 2-यूरेनियम परमाणु विघटित होंगें, तथा कुल 4-न्यूट्रॉन उत्पन्न करेंगें| वे 4-यूरेनियम परमाणुओं को विघटित करेंगे, तथा 8-न्यूट्रॉन उत्पन्न करेंगें, और इसी प्रकार क्रम चलता रहेगा|

विभंजित होने वाला प्रत्येक यूरेनियम परमाणु, दूसरों को अधिक और अधिक संख्या में विघटित करेगा| प्रत्येक नाभिकीय प्रतिक्रिया दूसरी प्रतिक्रिया को श्रृंखला में जोड़ेगी (link)| यह “सिलसिलेवार प्रतिक्रिया” (chain reaction) होगी|

ऐसा, कागज के एक कोने को माचिस से जलाने पर रासायनिक ऊर्जा के साथ होता है| जलते हुए कागज की ऊष्मा निकट के भाग को जलाना प्रारंभ कर देगी, जब तक कागज पूरी तरह जल नहीं जाता| पूरे कागज द्वारा दी गयी ऊष्मा, माचिस की मूल (original) ऊष्मा से कहीं अधिक होगी|

इसी प्रकार, प्रत्येक विघटित यूरेनियम परमाणु, अल्प ऊर्जा उत्पन्न करेगा| जैसे-जैसे अधिकाधिक यूरेनियम परमाणु विघटित होंगें, यह ऊर्जा बढ़ती जायेगी| अतः विभंजन द्वारा, मूल न्यूट्रॉन में दी गयी ऊर्जा से कहीं अधिक ऊर्जा प्राप्त होगी|

निश्चित ही, विभंजित होने वाले यूरेनियम परमाणु में ऊर्जा निहित रहती है| नाभिकीय "सिलसिलेवार प्रतिक्रिया" कागज को जलाने वाली रासायनिक प्रतिक्रिया से अत्यन्त तीव्र होगी| यूरेनियम विभंजन से उत्पन्न ऊर्जा, कागज को जलाने से उत्पन्न ऊर्जा से अत्यन्त अधिक होगी|

यूरेनियम विभंजन से ऐसा प्रतीत होने लगा, कि अंततः, लोग अणु-शक्ति का उपयोग कर सकेंगें| लगायी गयी ऊर्जा से अधिक ऊर्जा की प्राप्ति होगी, जिसके लिये रदरफोर्ड को संशय था|

परन्तु, विभंजन शक्ति खतरनाक हो सकती है| स्ज़िलार्ड को लगा कि यदि यूरेनियम की पर्याप्त मात्रा विभंजन करती है, तो यह इतनी अधिक ऊर्जा उत्पन्न करेगी और विस्फोट करेगी| और अधिक क्या, अल्प मात्रा में यूरेनियम से उत्पन्न विस्फोट, सामान्य वोस्फोटक के हजारों टन के विस्फोट के जैसा होगा|

इस विचार ने उसे बैचेन कर दिया| हिटलर के अत्याचारों के कारण स्ज़िलार्ड ने यूरोप छोड़ दिया था, तथा वह निश्चित रूप से समझ गया था कि हिटलर शीघ्र ही युद्ध प्रारंभ करेगा| यदि जर्मन वैज्ञानिकों ने "नाभकीय विभंजन बम" बनाया तो क्या होगा? (ऐसे बम को "परमाणु बम" या "A-बम" भी कहते हैं)|

यदि हिटलर के हाथ ऐसे हथियार आ जाते हैं, तो वह युद्ध को जीतने के लिये इनका उपयोग कर सकता है| तब सम्पूर्ण दुनिया एक क्रूर तथा अन्याय प्रिय सरकार के अंतर्गत होगी|

अतः, स्ज़िलार्ड ने सोचा कि ऐसा विभंजन बम पहले अमेरिका के पास होना अधिक महत्वपूर्ण है|

उस समय दुनिया के सबसे प्रसिद्ध वैज्ञानिक अल्बर्ट आइंस्टीन (Albert Einstein) थे| वे भी जर्मनी छोड़ कर अमेरिका में रह रहे थे| स्ज़िलार्ड तथा अन्य वैज्ञानिकों ने स्थिति का विस्तार करते हुए, अल्बर्ट आइंस्टीन से एक पत्र, अमेरिका के राष्ट्रपति फ्रैंक्लिन डेलानो रूज़वेल्ट (Franklin Delano Roosevelt) को लिखने के लिये प्रेरित किया| 2 अगस्त, 1939 को वह पत्र डाक से भेजा गया; 1 माह पश्चात् यूरोप में विश्वयुद्ध-2 प्रारंभ हो गया|

6 दिसम्बर, 1941 को राष्ट्रपति रूज़वेल्ट ने अंतिम तौर से नाभिकीय विभंजन बम को विकसित करने के लिये हर संभव प्रयत्न करने के आदेश किये| अगले ही दिन, जापान ने पर्ल बंदरगाह (Pearl Harbour) पर आक्रमण कर दिया, तथा अमेरिका को भी विश्वयुद्ध में शामिल होना पड़ा|

अमेरिका तथा अन्य देशों से वैज्ञानिकों ने यूरेनियम को एकत्रित करना प्रारंभ किया, तथा इसमें श्रृंखलित (chain) प्रतिक्रिया शुरू करने की क्रिया के लिये प्रयत्न करने लगे| स्वाभिक रूप से, वे ऐसी श्रृंखलित प्रतिक्रिया चाहते थे, जो नियंत्रण के बाहर न हो| कैडमियम (cadmium) धातु न्यूट्रॉनों को सुरक्षित रूप से अवशोषित कर लेती है| अतः, कैडमियम की छड़ों को यूरेनियम में रखा गया, ताकि यूरेनियम परमाणु से अत्यधिक न्यूट्रॉन विभंजित न हो सकें|

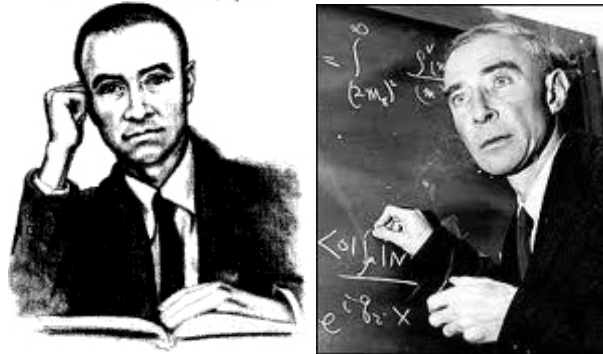
यह देखा गया कि न्यूट्रॉनों से विघटित होने वाला यूरेनियम-238 नहीं था, बल्कि दुर्लभ आइसोटोप (rare isotope) यूरेनियम-235 था| दोनों आइसोटोपों को अलग करने की विधियाँ विकसित की गयी, तथा यूरेनियम-235 से संवर्धित (richer) यूरेनियम तैयार किया गया|

इसी दौरान, अत्यंत विशाल/भारी नाभि वाले नये तत्व बनाये गए, जैसा कि फर्मी ने कुछ वर्ष पूर्व प्रयत्न किया था| तत्व 93 का नाम “नेप्टुनियम (neptunium)” तथा तत्व 94 का नाम “प्लूटोनियम (plutonium)” रखा| यह ज्ञात हुआ कि प्लूटोनियम को भी विभंजन के लिये उपयोग कर सकते हैं|

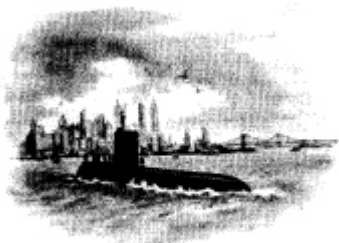
अब फर्मी इटली छोड़ चुका था, तथा अमेरिका में, वह नाभिकीय विभंजन की श्रृंखलित प्रतिक्रियाओं को करने में लगे वैज्ञानिकों के एक समूह की अध्यक्षता करता था| 2 दिसम्बर, 1942 को उन्हें सफलता मिली| शिकागो (Chicago) में प्रथम परमाणु भट्टी (nuclear reactor) ने नियंत्रित विभंजन द्वारा श्रृंखलित प्रतिक्रियाओं से ऊर्जा देना प्रारंभ किया|

जे. रोबर्ट ओप्पेन्हेइमेर (J. Robert Oppenheimer) की अगुआई में वैज्ञानिकों के एक समूह ने अगले कुछ वर्ष नाभिकीय विभंजन बम बनाने के लिये, पर्याप्त मात्रा में यूरेनियम तथा प्लूटोनियम को एकत्र करने में लगाये| 16 जुलाई, 1945 को प्रथम नाभिकीय विभंजन बम का न्यू-मेक्सिको

(New Mexico) के अलामोगोर्ड़ो (Alamogordo) शहर पर विस्फोट किया गया | विस्फोट अति शक्तिशाली (प्रबल) था|

जे राबर्ट ऑपनहाईमर

दो और बम तैयार किये गए| तब तक जर्मनी ने आत्म-समर्पण कर दिया था, परन्तु जापान फिर भी युद्ध कर रहा था| इन बमों में से एक बम 6 अगस्त, 1945 को जापान के एक शहर हिरोशिमा पर गिराया गया| 2 दिन पश्चात्, दूसरा बम नागासाकी पर गिराया गया| जापान की सरकार ने आत्म-समर्पण कर दिया, तथा विश्व-युद्ध-2 समाप्त हुआ|

नाभिकीय विभंजन का उपयोग बम में नहीं होना चाहिए| यदि विभंजन नियंत्रित हो, तो विस्फोट किये बिना, ऊर्जा का उपयोग किया जा सकता है| वैज्ञानिकों ने और अधिक ऐसी परमाणु भट्टियाँ बनाने का प्रयत्न किया| ये भट्टियाँ, शिकागो में निर्मित भट्टियों से छोटी, अधिक दक्ष (प्रभावशाली), एवं उपयोगी हैं|

1954 में, यू. एस. एस. नॉटिलस (USS Nautilus) नाम की एक नयी पनडुब्बी (submarine) जल में उतारी गयी| इसके पटल (board) पर एक परमाणु भट्टी थी| यह भट्टी पनडुब्बी के लिए आवश्यक ऊर्जा उत्पन्न करती थी| सामान्य पनडुब्बियों को अपनी बैटरी को आवेशित करने के लिये बार-बार सतह पर जल से बाहर आना पड़ता था, परन्तु परमाणु पनडुब्बी एक समय पर जल के अंदर महीनों तक रह सकती है|

यू एस एस नौटिलस पनडुब्बी

परमाणु भट्टियों को शांति-काल (peace time) में उपयोग के लिये बनाया जा रहा था| 1954 में संयुक्त सोवियत (Soviet Union) ने एक छोटी परमाणु भट्टी बनायीं| तत्पश्चात, इंग्लैंड ने बड़ी भट्टी बनायीं| 1958 में अमेरिका ने पेंसिलवेनिया (Pennsylvania) के बंदरगाह पर और बड़ी भट्टी बनायीं|

1950-1960 में जब परमाणु शक्ति का पहली बार उपयोग प्रारंभ हुआ, ऐसी आशा की जाती थी, कि यह संसार के लोगों के लिये ऊर्जा का नया स्रोत होगा| यद्यपि इसमें कठिनाई बहुत थी|

वास्तव में, संसार में यूरेनियम-235 अधिक नहीं था| क्या यूरेनियम-235 उपयोग में खर्च होने के पश्चात्, परमाणु शक्ति नहीं मिलेगी?

परन्तु, तब वैज्ञानिक सीख चुके थे, कि परमाणु भट्टी के चारों ओर सामान्य यूरेनियम अथवा थोरियम का उपयोग किया जा सकता है| परमाणु भट्टी से निकले न्यूट्रॉनों में से कुछ ने यूरेनियम तथा थोरियम में ऐसे परिवर्तन किये, जिससे ऐसे नाभि बन गये जो विभंजित हो सके| इस प्रकार, भट्टी में उपयोग हुए ईंधन से और अधिक ईंधन प्राप्त हो सका| इस प्रकार की “ब्रीडर भट्टी” (breeder reactor) में सभी यूरेनियम तथा थोरियम का उपयोग हो सका, न कि केवल यूरेनियम 235 का| “ब्रीडर भट्टी” के साथ मानव सैंकड़ों हजारों वर्षों तक परमाणु शक्ति पर निर्भर रह सकता है|

तथापि, इसमें खतरा बहुत अधिक था| ब्रीडर भट्टी प्लुटोनियम का उपयोग करती हैं, जो संसार में सर्वाधिक खतरनाक पदार्थ हैं| यह ऐसे रेडियोधर्मी यौगिक उत्पन्न करता है, जो अत्यंत खतरनाक हो सकते हैं, तथा आने वाले हजारों वर्ष में भी खतरनाक हो सकते हैं| इन यौगिकों से छुटकारा पाने (to dispose off) के लिये, वास्तव में उचित तरीके नहीं भी हो सकते, तथा भट्टी परिसर में हुई दुर्घटनायें उन योगिकों को सैकड़ों वर्ग कि० मी० में फैला सकते हैं|

1970 के दशक के अंत तक, अधिक पर अधिक लोग आश्चर्य में थे कि क्या परमाणु विभंजन शक्ति का उपयोग सुरक्षित तथा अहानिकर है? शायद इसके स्थान पर अन्य ऊर्जाओं का उपयोग करना चाहिये| एक अन्य प्रकार की परमाणु शक्ति भी है| तत्वों की सूची में दूसरे सिरे पर क्यों नहीं काम किया जाये? क्यों नहीं हाइड्रोजन नाभियों के साथ काम प्रारंभ किया जाये, तथा उनसे हीलियम नाभियाँ बनायीं जायें, जैसा कि सूर्य करता है|

अनेक छोटे नाभियों को संयोजित करके एक बड़े नाभि को बनाने को “परमाणु संयोजन (nuclear fusion)” कहते हैं| एक समान मात्रा के ईंधन से परमाणु संयोजन द्वारा प्राप्त ऊर्जा, परमाणु विभंजन से प्राप्त ऊर्जा से कहीं अधिक होती है| और अधिक, संयोजन का ईंधन हाइड्रोजन है, जो विभंजन में उपयोग होने वाले अनेक तत्वों से अधिक सामान्य है| संयोजन, विभंजन की तुलना में रेडियोधर्मिता भी कम उत्पन्न करता है| अतः, संयोजन अधिक सुरक्षित है|

यद्यपि, हाइड्रोजन नाभियों को संयोजित करना इतना सरल नहीं है| संयोजन के लिये करोड़ों (hundreds of millions) डिग्री के तापमान की आवश्कता है|

इस तरह के अति उच्च तापमान प्राप्त करने की एक विधि विभंजन बम का उपयोज करना है| यदि विभंजन बम को इस प्रकार छोड़ा (set-off) जाये, जिससे हाइड्रोजन समूह (mass) संयोजित होना प्रारंभ हो जाये, ऐसा होने पर एक विस्फोट होगा, जो अकेले विभंजन बम के विस्फोट की तुलना में अति विशाल होगा|

इस विशाल बम को हाइड्रोजन बम या “H-बम” कहते हैं| इसे परमाणु संयोजन (nuclear fusion) बम भी कहते हैं| 1952 में प्रथम परमाणु संयोजन बम का अमेरिका ने प्रशांत महासागर (Pacific Ocean) में मार्शल द्वीपों/आइलेंड्स (Marshall islands) पर विस्फोट किया|

परमाणु बम, विभंजन बम से हजारों गुणा शक्तिशाली था| सौभाग्यवश, परमाणु संयोजन बम अब तक युद्ध में उपयोग नहीं हुए हैं|

परन्तु क्या नियंत्रित परमाणु संयोजन हो सकता है? क्या हाइड्रोजन को करोड़ों डिग्री के तापमान तक गर्म किया जा सकता है? तथा क्या इसे, इसको अल्प मात्रा में संयोजित किया जा सकता है? क्या विस्फोट किये बिना ऊर्जा मिल सकती है?

अमेरिका एवं अन्य देशों में इसे सफल करने के लिये वैज्ञानिक 30 वर्षों से भी अधिक अथक प्रयत्न करते रहे| तथा अभी तक सफलता नहीं मिली, और अभी तक विकास कार्य चल रहा है|

संयोजन के लिये, विशेष प्रकार के हाइड्रोजन का उपयोग करते हैं, जिसे ड्यूटेरियम (deuterium) कहते हैं| ड्यूटेरियम नाभि में जैसा कि सामान्य हाइड्रोजन में होता है, केवल एक प्रोटोन के स्थान पर एक प्रोटोन तथा एक न्यूट्रॉन होते हैं| ड्यूटेरियम नाभि को अत्यधिक उच्च तापमान पर गर्म किया गया, तथा उस पर रोक सके|

आखिरकार, क्या वैज्ञानिक ऐसा कर सकेंगें? यदि एक बार ऐसा हो गया, तो परमाणु शक्ति का विशाल स्रोत तैयार हो जायेगा| यह उपयोग के लिये सुरक्षित होगा| फिर भी, विभंजन से अत्यंत सुरक्षित, एवं करोड़ों वर्ष तक चलने वाला होगा|

हम एक ही शताब्दी में पर्याप्त (काफी) दूर आ गये हैं| 100 वर्ष पूर्व, वैज्ञानिक आश्चर्य में थे कि क्या कैथोड किरण हो सकती हैं? अब वे पृथ्वी पर लघु (miniature) सूर्य बनाने का प्रयत्न कर रहे हैं, जो संसार के कार्य करेगा|